

29.10.2004



REC'D 11 NOV 2004  
WIPO PCT

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 103 44 526.9

**Anmeldetag:** 24. September 2003

**Anmelder/Inhaber:** KUKA Schweisanlagen GmbH,  
86165 Augsburg/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zum Laserstrahlschweißen von Bauteilen

**IPC:** B 23 K, B 25 J

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 21. Oktober 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

Kahle

**BEST AVAILABLE COPY**

## BESCHREIBUNG

### Verfahren zum Laserstrahlschweißen von Bauteilen

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Laserstrahlschweißen von Bauteilen, insbesondere Karosseriebauteilen, mit den Merkmalen im Oberbegriff des Hauptanspruchs.

10 Aus der Praxis ist es bekannt, zum Laserstrahlschweißen einen Remote-Laserkopf ohne Bauteilberührung mittels eines mehrachsigen Manipulators entlang der zu schweißenden Bahn führen. Der Manipulator hat mehrere Grundachsen und eine Hand mit mehreren Handachsen. Hierbei wird der Einstrahlwinkel  $\beta$  am Bauteil weitgehend konstant gehalten. Dies wird erreicht durch eine gleichzeitige und einander überlagernde Bewegung aller Manipulatorachsen, wobei die massebehafteten Grundachsen in hohem Maße beteiligt sind. Problematisch ist hierbei der Umstand, dass beim Schweißen 15 kurzer Nahtabschnitte der Roboter durch die aus Taktzeitgründen erforderlichen hohen Geschwindigkeiten kurze abgehackte Bewegungen ausführen muss. Dies bringt ihn an die Grenze einer mechanischen Überlastung. Außerdem können die vom Laserschweißprozess her potenziell 20 möglichen Schweißgeschwindigkeiten häufig nicht voll ausgenutzt werden, was zu Taktzeitverlusten und zu 25 entsprechenden zeitlichen und anlagentechnischen Problemen führen kann.

30 Ferner ist aus der Praxis bekannt, mit Remote-Laserköpfen zu arbeiten, die eine integrierte Scanneroptik mit mehreren beweglichen Spiegeln zur Ablenkung des Laserstrahls besitzen. Die Scanneroptiken sind allerdings relativ teuer und erfordern einen zusätzlichen Bau- und 35 Steuerungsaufwand.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Laserstrahlschweißtechnik zu verbessern.

Die Erfindung löst diese Aufgabe mit den Merkmalen im Verfahrenshauptanspruch.

Das erfindungsgemäße Verfahren hat den Vorteil, dass es mit konventionellen Manipulatoren und Laserköpfen ausgeführt werden kann. Der Laserstrahl wird durch Orientierungsänderungen und Änderungen seines Auslenkwinkels  $\alpha$  entlang der zu verfolgenden Schweißbahn bewegt. Dies kann allein durch die Bewegung der vorzugsweise drei oder mehr Handachsen des Manipulators geschehen. Die anderen Manipulatorachsen oder Grundachsen können während des Schweißprozesses in Ruhe sein oder allenfalls einen Höhenausgleich in Laserstrahlrichtung durch Nachführen der Manipulatorhand bewirken.

Über die Schwenkbewegungen der Manipulatorhand kann der Laserstrahl sehr schnell und zielgenau bewegt werden. Bei den Handbewegungen brauchen auch keine großen Massen bewegt zu werden. Außerdem kann mit konventionellen und preisgünstigen Remote-Laserstrahlköpfen mit winkelstarrer Optik und fester Brennweite gearbeitet werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren bietet verschiedene Vorteile. Einerseits kann durch die schnellen Laserstrahlbewegungen per Orientierungsänderung die maximal mögliche Schweißgeschwindigkeit am Bauteil erreicht und weitgehend eingehalten werden. Mit dem beanspruchten Verfahren können in der gleichen Taktzeit mehr Schweißnähte als mit der konventionellen Laserstrahlschweißtechnik erzeugt werden. Dies ermöglicht einerseits eine Taktzeitverkürzung, falls dies gewünscht wird. Andererseits kann eine bessere Ausnutzung der Taktzeit zu erheblichen technischen und wirtschaftlichen Einsparungen führen. Für die Schaffung der gleichen Zahl von Schweißnähten an ein oder mehreren Bauteilen, z.B. an

5 einer Fahrzeugrohkarosserie, genügen durch die bessere Auslastung weniger Laserschweißeinrichtungen, insbesondere Schweißroboter. Dies vereinfacht und verbilligt andererseits die System- und Anlagentechnik. Speziell im Bereich von Framing- bzw. Geostationen und Ausschweißstationen im Karosserierohrbau führt dies zu nachhaltigen Entlastungen.

10 Der eingesetzte Manipulator kann von beliebig geeigneter Bauart sein und im einfachsten Fall ein stationäres Gestell mit einer mehrachsigen Manipulatorhand darstellen. Vorzugsweise ist der Manipulator mit seiner Hand jedoch als mehrachsiger Industrieroboter, insbesondere als Gelenkarmroboter mit sechs oder mehr Achsen ausgebildet.

15 15 Die Roboterhand hat hierbei vorzugsweise drei einander in einem Kreuzungspunkt schneidende Handachsen IV, V, VI. Dies ermöglicht die Bewegung eines vorzugsweise quer zur letzten Handachse VI ausgerichteten Laserstrahl in einer Schalenbahn um den Kreuzungspunkt. Wenn der emittierte Laserstrahl eines vorzugsweise extern an der Roboterhand befestigten Remote-Laserkopfes den Kreuzungspunkt ebenfalls schneidet, bewegt sich der Fokus des Laserstrahl auf einer Kugelschale um diesen Kreuzungspunkt. Dies ermöglicht eine besonders einfache, schnelle und genaue Laserstrahlbewegung.

20 25 30 35 Je nach Orientierungsänderung bzw. Auslenkwinkel  $\alpha$  und entsprechender Länge der Schweißnaht können Höhenabweichungen des Fokus gegenüber dem Bauteil auftreten. Bei Einsatz von Remote-Laserköpfen mit langer Brennweite von z.B. 500 mm bis 1500 mm kann diese Höhenabweichung im Toleranzbereich liegen und akzeptabel sein. Wenn höherer Genauigkeiten gefordert werden, kann auch eine Fokusnachführung während des Schweißvorgangs stattfinden, was auf unterschiedliche Weise möglich ist, z.B. durch ein Verfahren der Fokussieroptik oder eine sog. adaptive Fokussieroptik oder durch eine Nachführbewegung

des Manipulators oder Roboters in Strahlrichtung.

Der Remote-Laserkopf kann direkt an der Roboterhand befestigt werden. In vielen Fällen ist jedoch die Zwischenschaltung eines Auslegers günstig. Der Ausleger vergrößert den "Hebelarm" des Laserstrahls bzw. den Abstand des Kreuzungspunktes der Handachsen vom Bauteil. Je größer dieser Abstand oder die Brennweite des Laserkopfes sind, desto größer ist der Arbeitsbereich und die erzielbare Nahtlänge unter Einhaltung akzeptabler Einstrahlwinkel  $\beta$ . Ein Ausleger ermöglicht ferner den Einsatz von Remote-Laserköpfen mit kürzerer Brennweite bei trotzdem großen Arbeitsbereichen.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren ist es vorteilhaft, beim Schweißen die Laserleistung in Abhängigkeit von den Orientierungsänderungen oder Einstrahlwinkeln  $\beta$  des Laserstrahls (2) nachzuführen. Hierdurch kann der Laserschweißprozess optimiert werden.

Mit der erfindungsgemäßen Verfahrenstechnik können beliebige Nahtformen (Stumpfnaht, Überlappnaht, Kehlnaht etc.) mittels Laserstrahl geschweißt werden. Die Schweißnähte können als durchgehende längere Schweißnähte oder als kürzere Schweißnahtabschnitte, z.B. in Form einer Steppnaht, gebildet werden. Durch den großen Arbeitsbereich der Laserschweißvorrichtung können auch die Versatzbewegungen zwischen den Schweißnähten oder Nahtabschnitten durch eine Handbewegung bei stehendem Manipulator durchgeführt werden. Bei Überschreitung des Arbeitsbereichs kann die Versatzbewegung durch eine Manipulatorbewegung unterstützt oder bewirkt werden.

In den Unteransprüchen sind weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung angegeben.

Die Erfindung ist in den Zeichnungen beispielsweise und schematisch dargestellt. Im Einzelnen zeigen:

5 Figur 1: eine Seitenansicht einer Laserschweißstation mit einer robotergeführten Laserschweißvorrichtung und einem Bauteil,

10 Figur 2: eine vergrößerte Darstellung der Roboterhand mit einem Ausleger und einem Remote-Laserkopf und

15 Figur 3: eine vereinfachte Schemadarstellung eines Schweißprozesses mit mehreren Schweißnähten an einem Bauteil.

15

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Laserstrahlschweißen von Bauteilen (14), die von beliebiger Zahl, Art und Größe sein können. In der bevorzugten Ausführungsform handelt es sich um Karosseriebauteile von Fahrzeugen und ggf. auch um komplette Rohkarosserien.

20 Die Erfindung betrifft ferner eine Laserschweißvorrichtung (1) bzw. eine hiermit ausgestattete Laserschweißstation (2) zum Fügen von Bauteilen (14) mittels Laserstrahlschweißen. Hierbei kann es sich z.B. um eine Geostation oder Framingstation innerhalb einer Fertigungsanlage für Rohkarosserien handeln, in der Karosserieteile, z.B. Bodenteil und Seitenwände etc., in die geometrisch richtige Position zueinander gebracht, in dieser Lage gespannt und mittels einer oder mehreren Laserschweißnähten (19) gefügt werden. Die Laserschweißstation (2) kann außerdem eine Bauteilvorbereitungsstation sein, in der z.B. eine Seitenwandgruppe aus mehreren Einzelteilen nacheinander aufgebaut und durch Laserstrahlschweißen gefügt wird. Die übrigen Komponenten der

25

30

35

Laserschweißstation (2) sind der Übersicht halber nicht dargestellt. Die Laserschweißstation kann auch zwei oder mehr der nachfolgend näher beschriebenen Laserschweißvorrichtungen (1) aufweisen.

5

Die in Figur 1 dargestellte Laserschweißvorrichtung (1) besteht aus einem Manipulator (5) mit einer mehrachsigen Manipulatorhand (7) und einem Remote-Laserkopf (3), der einen Laserstrahl (12) emittiert. Der Manipulator (5) hält den Laserkopf (3) mit Abstand und ohne direkten Kontakt zum Bauteil (14), welches in Figur 1 in vereinfachter Weise als Blechtafel auf einer Bauteilaufnahme dargestellt ist. Das Bauteil (14) kann ansonsten eine beliebige Form und Größe haben.

15

Der Manipulator (5) ist im bevorzugten Ausführungsbeispiel als mehrachsiger Industrieroboter, insbesondere als sechsachsiger Gelenkarmroboter ausgebildet. Er besteht aus einem stationären oder ggf. mit einer zusätzlichen Fahrachse ausgerüsteten Sockel, auf dem ein Karussell um eine vertikale Roboterachse I drehbar gelagert ist. Am Karussell ist eine Schwinge um eine zweite horizontale Roboterachse II schwenkbar gelagert. Am anderen Ende trägt die Schwinge einen Roboterarm (6), der um eine dritte horizontale Roboterachse III schwenkbar gelagert ist. Diese Roboterachsen I,II,III bilden die sogenannten Grundachsen.

25

Die Manipulatorhand oder Roboterhand (7) hat vorzugsweise drei oder mehr Handachsen IV,V,VI, die sich vorzugsweise alle in einem gemeinsamen Kreuzungspunkt (9) schneiden. Die Roboterhand (7) ist mit ihrem Gehäuse (10) um die erste Handachse IV drehbar am Roboterarm (6) gelagert. Der Abtrieb erfolgt über einen Abtriebsflansch (8) der Roboterhand (7), der um die letzte Handachse VI drehen kann. Der Abtriebsflansch (8) ist seinerseits im Handgehäuse (10) um die quer liegende Handachse V

schwenkbar gelagert.

Der Remote-Laserkopf (3) ist vorzugsweise extern am Manipulator (5) angeordnet und direkt oder unter Zwischenschaltung eines Auslegers (4) am Abtriebsflansch (8) befestigt. Der Laserkopf (3) besitzt eine vorzugsweise winkelstarre Fokussieroptik (21) ohne Scannerspiegel oder dgl., die den von einer Laserstrahlquelle (11) zugeführten Laserstrahl mit vorzugsweiser konstanter Brennweite  $F$  fokussiert und zum Bauteil (14) emittiert. Die Brennweite  $F$  beträgt z.B. 500 mm bis 1500 mm, vorzugsweise 1000 mm bis 1500 mm, wobei von diesem Brennweitenbereich je nach Anwendungsfall auch nach oben oder unten abgewichen werden kann.

15

Die Laserstrahlquelle (11) kann von beliebiger Art und Größe sein. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel handelt es sich um einen Faserlaser oder einen Scheibenlaser mit externer Laserstrahlquelle (11), die über eine geeignete Laserstrahlführung (13), z.B. ein flexibles Lichtleitfaserkabel, mit dem Laserkopf (3) verbunden ist.

20

Der Laserkopf (3) ist vorzugsweise derart an der Roboterhand (7) befestigt, dass der zum Bauteil (14) emittierte Laserstrahl (12) nicht mit der letzten Handachse VI fluchtet und insbesondere quer dazu ausgerichtet ist. Vorzugsweise befindet sich der Laserkopf (3) in einer vom Abtriebsflansch (8) zurückversetzten Position, in der die Wirkachse des emittierten Laserstrahls (12) den Kreuzungspunkt (9) der Handachsen VI, V, VI schneidet.

25

Der Ausleger (14) besitzt eine Montageplatte (15) zur Befestigung am Abtriebsflansch (8). Er hat ferner eine Halterung (17) für den Laserkopf (3), die quer und im rechten Winkel zur Montageplatte (15) ausgerichtet ist. Die Montageplatte (15) und die Halterung (17) befinden

30

35

5 sich an den gegenüber liegenden Enden des Auslegers (4) und sind durch mindestens einen distanzierenden Seitenarm (16) miteinander verbunden. Der Seitenarm (16) hat eine entsprechend zugeschnittene Form mit quer zueinander stehenden Endkanten, in deren Bereich die Montageplatte (15) und die Halterung (17) befestigt sind. Figur 2 zeigt diese Ausbildung im Detail.

10 Der Ausleger (4) ist vorzugsweise als rahmenartiges Gehäuse ausgebildet und besitzt mindestens zwei Seitenarme (16). In der bevorzugten Ausführungsform sind diese Seitenarme parallel zueinander und mit einem solchen Abstand angeordnet, dass sie die Hand (7) und den Laserkopf (3) zumindest bereichsweise seitlich umgeben. Außerdem sind die Seitenarme (16) durch ein oder mehrere quer liegende Zwischenplatten (18) miteinander verbunden. Diese sind in Figur 2 gestrichelt dargestellt. Der Ausleger (4) bzw. der oder die Seitenarme (16) erstrecken sich von der Montageplatte (15) ausgehend schräg nach 15 hinten gegen die letzte Handachse VI. Hierdurch wird der Laserkopf (3) vom Abtriebsflansch (8) in der vorerwähnten Weise nach hinten versetzt angeordnet. Durch diese 20 achssymmetrische Anordnung können die Bewegungen des Laserkopfes (3) über die Handachsenbewegungen unmittelbar und ohne Berücksichtigung von Versatzfehlern gesteuert werden. Die Steuerung der Handachsenbewegungen erfolgt in 25 üblicher Weise durch die Robotersteuerung.

30 Während des Schweißens wird der emittierte Laserstrahl (12) entlang der zu verfolgenden Schweißbahn (19) durch Orientierungsänderungen geführt, wobei diese Orientierungsänderungen nur durch Schwenkbewegungen der Roboterhand (7) um ein oder mehrere ihrer Handachsen IV, V, VI erzeugt werden. Die Orientierungsänderungen sind 35 Winkeländerungen des Laserstrahls (12) um variable Auslenkwinkel  $\alpha$  um die beteiligten Handachsen (n) IV, V, VI und insbesondere um den Kreuzungspunkt (9) zwischen

Handachsen und Laserstrahl (12). Der Auslenkwinkel  $\alpha$  ist z.B. der Schwenkwinkel des Laserstrahls (12) gegenüber der Normalenrichtung auf das Bauteil (14). Der Laserstrahl (12) wird hierbei vorzugsweise ausschließlich durch 5 Drehbewegungen um den Kreuzungspunkt (9) entlang der zu verfolgenden Schweißbahn (19) am Bauteil (14) geführt. Hierbei bewegt sich der Fokus (22) des Laserstrahl (12) auf einer Schalenfläche (20), vorzugsweise einer Kugelschalenfläche um den Kreuzungspunkt (9). Wenn der 10 Laserkopf (3) mit einem seitlichen Versatz zum Kreuzungspunkt (9) angeordnet ist, so dass der nach hinten verlängerte emittierte Laserstrahl (12) den Kreuzungspunkt (9) nicht schneidet, ergibt sich eine andere Schalenbahn (20) für den Fokus (22).

15

Durch die Orientierungsänderungen und die variablen Auslenkwinkel  $\alpha$  ändern sich auch die Einstrahlwinkel  $\beta$  des Laserstrahls (12) am Bauteil (14). Der für 20 Laserschweißprozesse zulässige Bereich der Einstrahlwinkel kann entsprechend der Lasergestaltung und der Bauteile variieren. Mit dem bisher üblichen Laserschweißtechniken sind die prozesstauglichen Einstrahlwinkel  $\beta$  ca.  $60^\circ$  oder größer.

25

Durch die schalenförmige Fokusbahn (20) entstehen Höhenabweichungen  $df$  zwischen Fokus (22) und Bauteil (14), die mit zunehmendem Auslenkwinkel  $\alpha$  ansteigen. Bei längeren Brennweiten  $F$ , insbesondere im bevorzugten Bereich zwischen 1000 mm und 1500 mm, sind diese 30 Höhenabweichungen  $df$  tolerabel und brauchen in vielen Fällen nicht kompensiert zu werden. In anderen Fällen kann zur Kompensation eine Fokusnachführung stattfinden. Dies ist auf verschiedene Weise möglich, z.B. durch eine im Laserkopf (3) integrierte Linearachse, mit der die 35 Fokussieroptik (21) in Strahlrichtung vor- und zurückbewegt werden kann. Eine andere Möglichkeit der internen Fokusnachführung besteht in einer speziellen

adaptiven Fokussieroptik (21) mit veränderlicher Brennweite. Ferner ist es möglich, die Höhenabweichung  $df$  durch eine Nachführbewegung des Roboters (5) über die Grundachsen I,II,III durchzuführen. Die für die 5 Einstellung der Fokusnachführung erforderlichen Einstellwerte können auf beliebig geeignete Weise gewonnen werden, z.B. durch eine Abstandsmessung vom Laserkopf (3) zum Bauteil (14) oder durch eine Messung des Auslenkwinkels  $\alpha$  und eine Rückrechnung auf die hieraus 10 sich ergebende Höhenabweichung  $df$ .

Beim Schweißen ist der Manipulator oder Roboter (5) vorzugsweise mit seinen Grundachsen I,II,III in Ruhe und positioniert lediglich die Roboterhand (7) an der gewünschten Stelle im Raum mit Abstand zum Bauteil (14). 15 Die Laserstrahlbewegung wird dann nur durch die Dreh- oder Schwenkbewegung von ein oder mehreren Handachsen IV,V,VI ausgeführt. Eine Versatzbewegung des Roboters (5) und der Roboterhand (7) findet vorzugsweise nicht statt. 20 Allerdings kann über die Grundachsen I,II,III in der vorerwähnten Weise eine Fokusnachführung erfolgen.

Mit der beschriebenen Verfahrenstechnik können unterschiedliche Arten von Schweißnähten (19) am Bauteil 25 (14) geschweißt werden. Figur 3 zeigt hierfür ein Ausführungsbeispiel mit mehreren Strichnähten, die z.T. im Wesentlichen gerade ausgebildet und zum anderen Teil deutlich gekrümmt und insbesondere abgewinkelt sind. Figur 30 3 zeigt hierbei auch die unterschiedlichen Winkelstellungen bzw. Positionen 1 - 3 des Remote-Laserkopfes (3), aus denen der Laserstrahl (12) an die gewünschten Stellen am Bauteil (14) gerichtet wird.

Wenn die Brennweite  $F$  und/oder die Auslegerlänge sowie der 35 hieraus sich ergebende Arbeitsbereich genügend groß sind, kann aus einer Raumposition der Roboterhand (7) das gesamte Bauteil (14) durch reine Handachsenbewegungen

geschweißt werden. Wie in Figur 3 findet hierbei auch die Versatzbewegung des Laserstrahls (12) durch eine reine handachsengesteuerte Drehbewegung des Laserkopfs (3) statt. Alternativ kann die Versatzbewegung zwischen den 5 einzelnen Schweißnähten (19) oder Nahtabschnitten durch eine Umpositionierung der Roboterhand (7) durch den Manipulator (5) erfolgen. Ferner ist es in kinematischer Umkehr möglich, das Bauteil (14) bei der Versatzbewegung relativ zum Laserkopf (3) zu bewegen. Während der 10 Versatzbewegungen findet kein Schweißen statt.

Beim Schweißprozess kann die Leistung der Laserstrahlquelle (11) in Abhängigkeit von den Orientierungsänderungen bzw. den veränderlichen 15 Einstrahlwinkeln  $\beta$  des Laserstrahls (12) nachgeführt werden. Eine Leistungsnachführung kann außerdem zum Einstechen am Nahtanfang und zum Ausfahren am Nahtende stattfinden. Durch die winkelabhängige Leistungsnachführung können Leistungseinbußen an der 20 Nahtstelle kompensiert werden, die z.B. durch ungünstige flachere Einstrahlwinkel  $\beta$  entstehen können. Beim rechten Einstrahlwinkel  $\beta$  zwischen Laserstrahl (12) und Bauteil (14) an der Auftreffstelle ist die übertragbare 25 Strahleistung maximal, so dass hier die Laserleistung entsprechend verringert werden kann. Alternativ zur Leistungsanpassung kann die Schweißgeschwindigkeit verändert werden, um die gewünschte Streckenenergie zu erreichen.

30 Abwandlungen der gezeigten Ausführungsform sind in verschiedener Weise möglich. Dies betrifft einerseits die Gestaltung des Manipulators (5). Dieser kann in beliebig anderer Weise ausgebildet sein und eine andere Zahl, Art und Anordnung von Manipulator-Grundachsen I,II,III 35 besitzen. Er kann z.B. als Portalroboter mit drei translatorischen Fahrachsen ausgebildet sein. Der Manipulator (5) kann bei ausreichend großem Arbeitsbereich

der Laserschweißvorrichtung (1) auch ein stationäres Gestell oder dgl. sein. Der Manipulator (5) kann ferner beliebig angeordnet sein, z.B. stehend am Boden oder hängend an einem Portal oder an einer Wand. Ferner sind 5 andere Arten und Kinematiken der Manipulatorhand (7) und ihrer Handachsen möglich. Auf den Ausleger (4) kann zu Gunsten einer direkten Montage des Remote-Laserkopfes (3) am Abtriebsflansch (8) verzichtet werden. Der sich hieraus ergebende Offset zum Kreuzungspunkt (9) wird in der 10 Handachsensteuerung entsprechend ausgeglichen und kann für gewisse Anwendungsfälle auch von Vorteil sein, insbesondere wenn räumlich um Kanten am Bauteil herum geschweißt werden soll. In weiterer Abwandlung ist es möglich, statt eines extern angebrachten Remote- 15 Laserkopfes (3) den Laserkopf in den Manipulator (5) zu integrieren und den von der externen Laserstrahlquelle (11) eingekoppelten Laserstrahl intern durch den Roboterarm (6) und die Roboterhand (7) zu einer Austrittsstelle am Abtriebsflansch (8) zu führen. Die 20 gewünschte Umlenkung des Laserstrahls (12) kann durch einen am Abtriebsflansch (8) befestigten Spiegel erfolgen, der den dann emittierten Laserstrahl (12) in der gewünschten und nicht fluchtenden Weise zur letzten Handachse VI ausrichtet.

25 Variabel ist ferner die Laserkonstruktion an sich. Dies betrifft einerseits die Gestaltung des Remote-Laserkopfes (3) und seiner Fokussiereinrichtung (21). Andererseits kann die Laserstrahlquelle (11) in den Laserkopf (3) 30 integriert oder an anderer Stelle, z.B. am Roboterarm (6) angeordnet werden. Sie kann ferner als Diodenlaser, CO<sub>2</sub>-Laser oder in beliebig anderer Art ausgeführt sein. Auch die Art der Laserstrahlführung (13) ist variabel. Sie kann z.B. als offene oder geschlossene Spiegelführung mit 35 beweglichen Rohrabschnitten ausgebildet sein.

BEZUGSZEICHENLISTE

- 1 Laserschweißvorrichtung
- 2 Laserschweißstation
- 5 3 Laserkopf, Remote-Laserkopf
- 4 Ausleger
- 5 Manipulator, Roboter
- 6 Roboterarm
- 7 Hand, Roboterhand
- 10 8 Abtriebsflansch
- 9 Kreuzungspunkt Handachsen
- 10 Handgehäuse
- 11 Laserstrahlquelle
- 12 Laserstrahl, Wirkachse
- 15 13 Laserstrahlführung, Lichtleitfaserkabel
- 14 Bauteil
- 15 Montageplatte
- 16 Seitenarm
- 17 Halterung
- 20 18 Zwischenplatte
- 19 Schweißnaht, Schweißbahn, Nahtabschnitt
- 20 Fokusbahn
- 21 Fokussieroptik
- 22 Fokus Laserstrahl
  
- 25 I Roboterachse, Drehachse
- II Roboterachse, Schwenkachse
- III Roboterachse, Schwenkachse
- IV Handachse, Drehachse
- 30 V Handachse, Schwenkachse
- VI Handachse, Drehachse
- F Brennweite Laser
- $\alpha$  Auslenkwinkel, Orientierungsänderung Laserstrahl
- $\beta$  Einstrahlwinkel
- 35 df Höhenabweichung Fokus zu Bauteil

## PATENTANSPRÜCHE

- 1.) Verfahren zum Laserstrahlschweißen von Bauteilen (14), insbesondere Karosseriebauteilen, mit einem Remote-Laserkopf (3), der von einem Manipulator (5) mit einer mehrachsigen Manipulatorhand (7) geführt wird, dadurch gekennzeichnet, dass während des Schweißens der emittierte Laserstrahl (12) entlang der zu verfolgenden Schweißbahn (19) durch Orientierungsänderungen und mit veränderlichen Einstrahlwinkeln  $\beta$  geführt wird, wobei seine Orientierungsänderungen nur durch Schwenkbewegungen der Manipulatorhand (7) um mindestens eine ihrer Handachsen IV, V, VI erzeugt werden.
- 15  
2.) Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der zum Bauteil (14) emittierte Laserstrahl (12) nicht mit der letzten Handachse VI fluchtet.
- 20  
3.) Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Manipulator (5) beim Schweißen mit seinen anderen Achsen I, II, III in Ruhe ist.
- 25  
4.) Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Fokus (22) des Laserstrahls (12) beim Schweißen auf einer Kugelbahn (20) um den Kreuzungspunkt (9) der Handachsen IV, V, VI bewegt wird.
- 30  
5.) Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass beim Schweißen der Fokus (22) des Laserstrahls (12) in Strahlrichtung nachgeführt wird.

6.) Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass der  
Laserstrahl (12) von einem extern an der  
Manipulatorhand (7) angeordneten Remote-Laserkopf  
(3) emittiert wird.

5

7.) Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass der  
Remote-Laserkopf (3) mittels eines Auslegers (4) mit  
10 Abstand zur Manipulatorhand (7) geführt wird.

10

8.) Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass der  
Remote-Laserkopf (3) mit einer Ausrichtung des  
emittierten Laserstrahls (12) quer zur letzten  
15 Handachse VI gehalten wird.

15

9.) Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass der  
Remote-Laserkopf (3) derart an der Manipulatorhand  
20 (7) befestigt wird, dass der emittierte Laserstrahl  
(12) den Kreuzungspunkt (9) der Handachsen IV,V,VI  
schneidet.

25

10.) Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass ein  
Remote-Laserkopf (3) mit winkelstarrer  
Fokussieroptik (21) verwendet wird.

30

11.) Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass ein  
Remote-Laserkopf (3) mit einer festen Brennweite von  
vorzugsweise 500 bis 1500 mm verwendet wird.

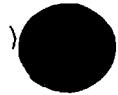
35

12.) Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass beim  
Schweißen die Laserleistung in Abhängigkeit von den

Orientierungsänderungen des Laserstrahls (12)  
nachgeführt wird.

13.) Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass beim  
Schweißen die Schweißgeschwindigkeit in Abhängigkeit  
von den Einstrahlwinkeln  $\beta$  des Laserstrahls (12)  
nachgeführt wird.

10



15

20



25

30

35

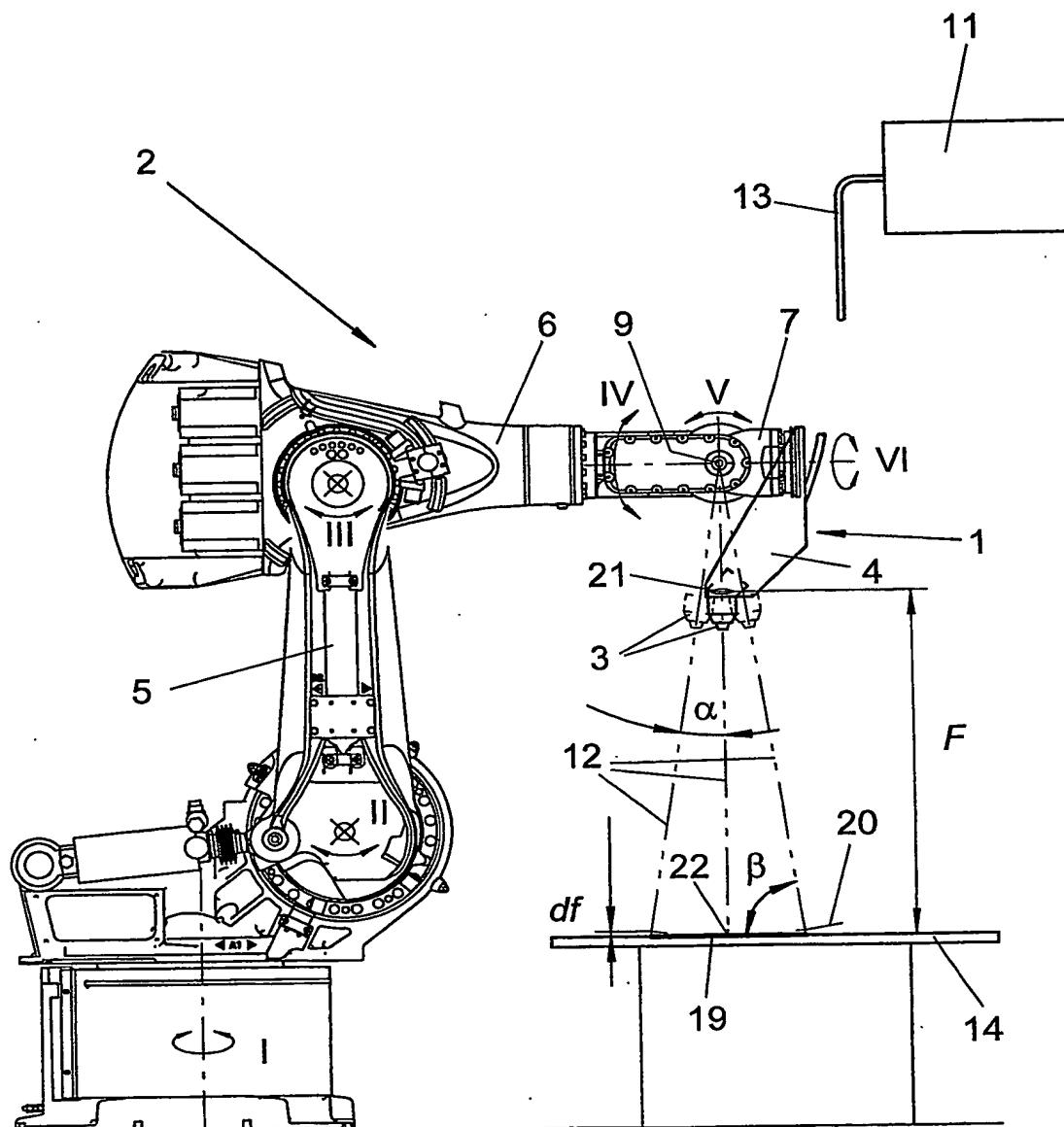
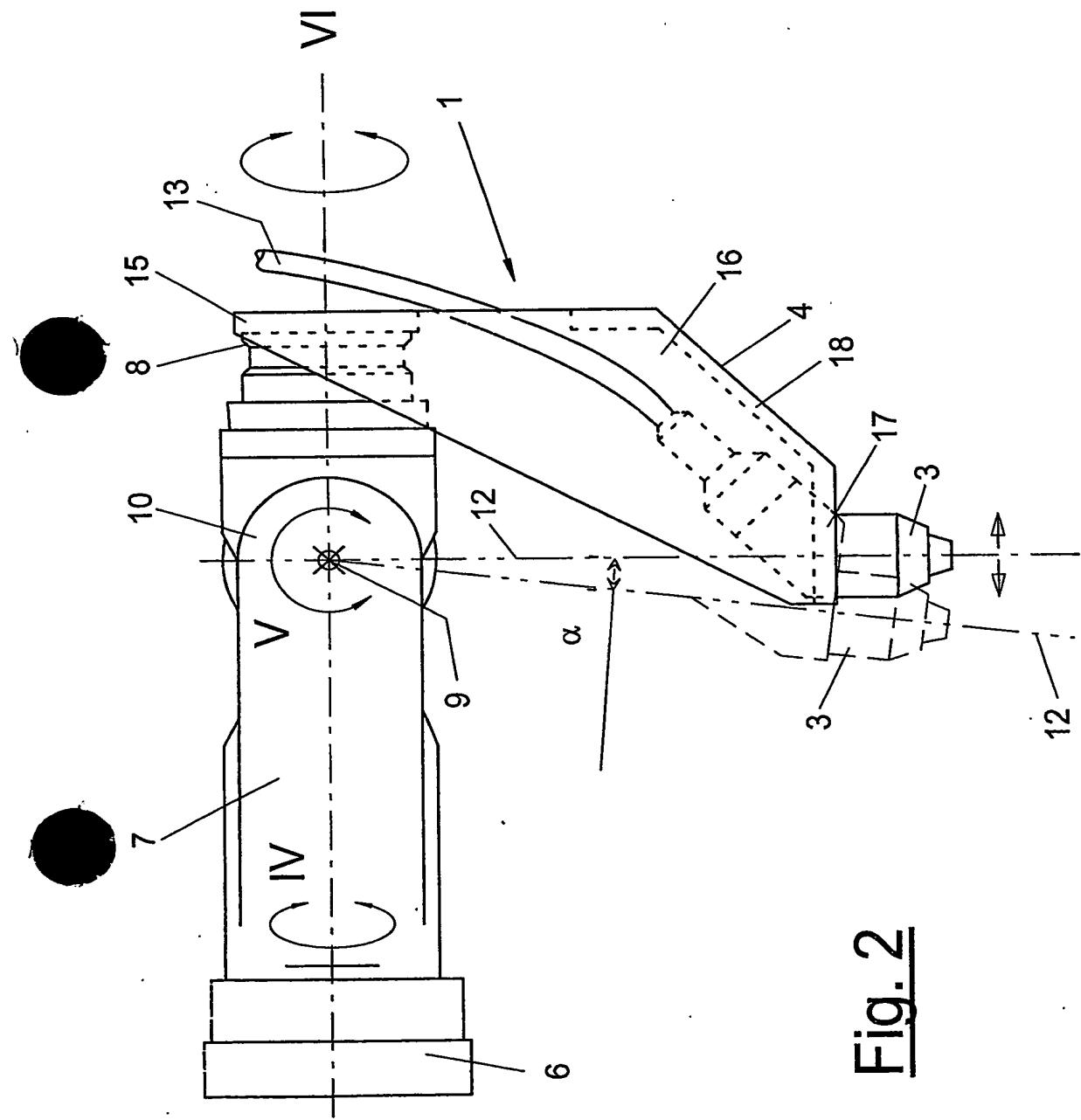


Fig. 1



**Fig. 2**

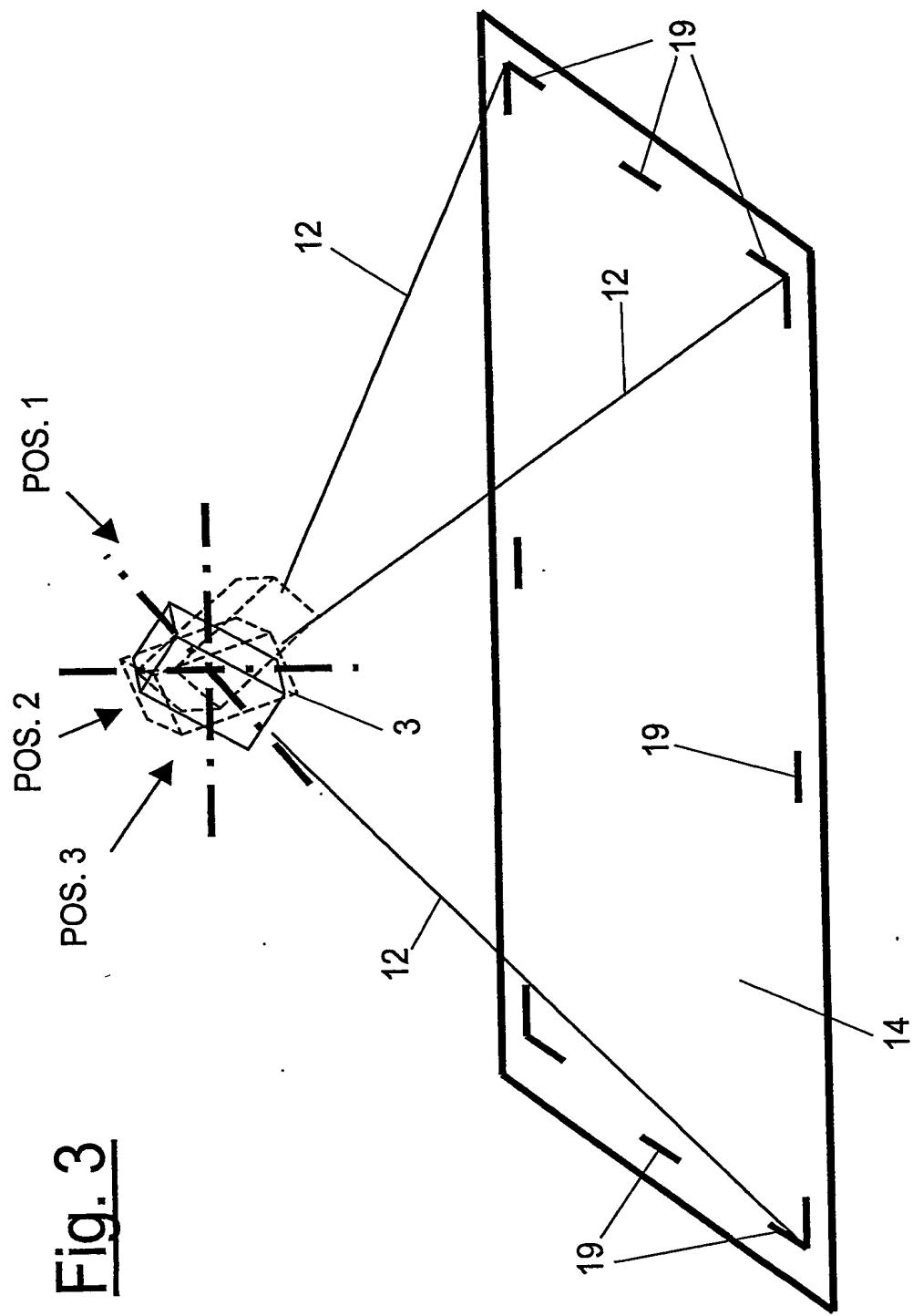


Fig. 3

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**